

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2025. 02. 012

工业新城基于WaterDesk的多水厂联合调度供水

廖 晖, 黄玲明, 邓 辉, 汤 敏

(湖南浏阳经开区水务股份有限公司, 湖南 长沙 410324)

摘 要: 为准确评估工业、居民混合用水高峰时供水管网的状况及多水厂联合调度的可行性,采用WaterDesk对长沙市某工业新城供水系统进行水力建模,并采用抄表数据、水厂瞬时供水量及现场实测数据对水力模型进行校准,校准后应用于现状工业企业与居民之间的用水矛盾分析,以及中区老旧水厂停产情况下供水用水存在问题的分析,并提出现状管网改造建议、多水厂联合调度模拟及拟建水厂的推荐位置和供水水压推荐值,可为管网改造、新建水厂提供参考。

关键词: WaterDesk软件; 工业新城; 供水管网; 水力模型; 多水厂联合调度

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0075-07

Joint Scheduling of Water Supply for Multiple Waterworks Based on WaterDesk in a New Industrial City

LIAO Hui, HUANG Ling-ming, DENG Hui, TANG Min

(Hunan Liuyang Economic Development Zone Water Co. Ltd., Changsha 410324, China)

Abstract: In order to accurately assess the condition of water supply pipelines during peak mixed industrial and residential water usage and the feasibility of multiple waterworks joint scheduling, a hydraulic model of a water supply system in a new industrial city in Changsha was established based on WaterDesk and calibrated using meter reading data, instantaneous water supply of waterworks, and on-site measured data. After calibration, the model was applied to analyze the water usage contradiction between existing industrial enterprises and residents, as well as to identify problems in the water supply system during the shutdown of old waterworks in central areas. Based on the analysis, pipeline modification, simulation of joint scheduling of multiple waterworks, locations for new waterworks, and water pressure values were proposed, which could provide guidance for pipeline modification and the construction of new waterworks.

Key words: WaterDesk software; new industrial city; water supply network; hydraulic model; joint scheduling of multiple waterworks

随着城市经济的发展,其用水需求日益增加,供水服务面临诸多挑战。采用多水厂联合供水可以满足不断增加的用水需求,多水源供水还可降低单一水源供水造成的不稳定性,提高供水的可靠性^[1]。

多水厂供水联合调度难度较大,为提升信息化管理水平,需建立供水管网模型以指导供水管网管

理与运行^[2]、施工改造^[3]、供水规划^[4],辅助保障安全供水,提高供水管网调度的敏感性以及准确性。EPANET^[5]、Bentley WATERGEMS^[6]、MIKE URBAN WD^[7]等建模软件被广泛用于供水管网水力、水质模型建立,可与GIS、SCADA、AMR等联合构建在线水力模型系统^[8]。在多水厂供水中建立管网模型

(EPANET)用于评估供水分界带的水质改善方案^[9]。城市经济开发区同时为工业与居民生活供水,工业用水量需求分布不均匀,需要兼顾用水平衡问题。大企业用户取水对管道供水压力的影响大,影响供水管网的压力平衡,造成部分区域水压过低^[10]。WaterDesk作为一款国产免费供水管网模拟软件,模拟功能丰富,具备主流数据接口,支持CAD图纸、GIS文件等各类管网文件的导入,可链接SCADA在线监测数据库,兼容地图、卫星影像,操作方便,可视化程度高。

基于WaterDesk供水模型软件搭建长沙东部某工业新城多水厂联合调度供水水力模型,评估供水管网压力分布现状,对多水厂联合调度供水条件进行优化,为近远期新建水厂提供规划建议。

1 工程概况

长沙东部某工业新城已建中区和西区两座水厂,中区水厂现状供水规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,西区水厂现状供水规模为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2022年最高日需水量约 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2025年需水量将达到 $25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,届时现状水厂供水能力难以覆盖。工业新城未来的发展方向为东片区域,为满足园区全时段用水需求,规划在新城东片地区新建1座水厂。

2 模型建立

基于新城供水管网基础数据,利用WaterDesk供水模型构建供水管网水力模型。

2.1 基础数据收集整理

利用WaterDesk构建供水管网模型需要用到管网属性、用户用水量和水厂供水等数据。现状水厂、泵站、管网主要参数分别见表1、2。

表1 现状水厂、泵站主要参数

Tab.1 Main parameters of current waterworks and pump station

项目	规模/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	出厂水压/MPa	高程/m
西区水厂	16	0.15(西区),0.26(中区)	103
中区水厂	10	0.50	66
南区泵站	4	0.42	95

表2 现状管网主要参数

Tab.2 Main parameters of current pipeline network

管径/mm	管长/km	管材
100~200	19.0	球墨铸铁
250~500	80.1	
600~800	25.9	
1 000	1.1	

2.2 管道粗糙系数

Hazen-Williams公式是计算水头损失的最常用公式,该研究亦采用Hazen-Williams公式作为水头损失计算公式。管道粗糙系数取值与管材类型有关,该地区的供水管网以铸铁管为主且建设年限多为5~10年,粗糙系数定为90。

2.3 管网节点基础用水量分配

为了准确进行管网节点基础用水量分配,将对应管网节点范围内的用户用水量作为节点基础用水量,用户用水量来源于运营抄表数据。根据生活用水供水范围划分南、中、西三区,通过各水厂各时段的供水数据匹配各自供水范围的用水变化系数,在模型中概化为用水量时变化系数。根据水厂送水流量得到各区生活用水量时变化系数(见图1)。工业企业为24 h不间断生产,用水量变化较小,故不设置变化系数。工业新城内工业与生活区分布见图2。

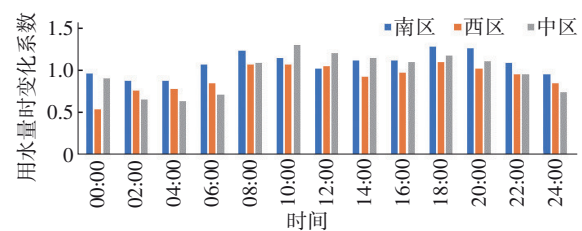


图1 不同生活区用水量时变化系数

Fig.1 Coefficient of variation of water consumption in different living areas

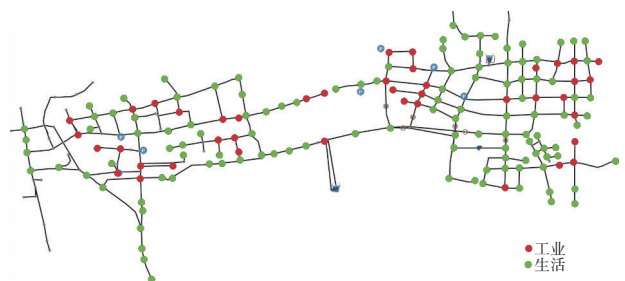


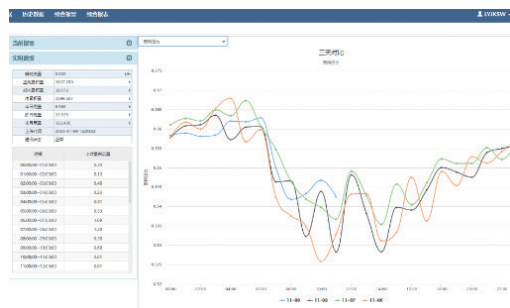
图2 工业新城的工业与生活区分布

Fig.2 Distribution of industrial and living areas in the new industrial city

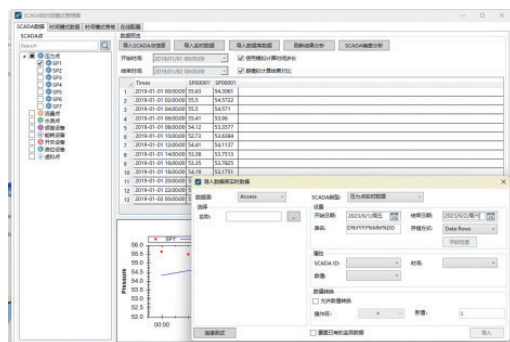
2.4 模型率定校准

模型率定校准是指供水管网水力模型不断修正逐步接近实际运行工况,达到允许的误差精度。通过修正一些模型组件中的固定量(管道摩阻系数等)和利用实际测定数据(节点压力、流量等)完成率定校准过程。

该研究主要目标是指导多水厂联合调度供水以及管网优化工作。模型构建过程中的水量分配根据现场实测数据、抄表数据等进行匹配修正。模型率定校准过程中选取各供水范围内不同位置的测压点进行模型校准,将SCADA智能远传水表数据库导入WaterDesk模型,对比节点实际水压与模拟水压的差值(见图3),通过修正部分用水节点高程、基础用水量、部分管道基础参数进行模型率定,并以舒诗湖等^[11]所阐述的管网模型推荐校核精度为目标进行节点压力校准。



a. SCADA智能远传水表数据平台



b. 在线数据库导入WaterDesk模型

图3 在线监测数据导入

Fig.3 On-line monitoring data import

经过校准后,实测值与模拟值的差值见图4。约90%测压点的实测值与模拟值的平均误差在30 kPa以内,故率定校准后的模型基本可以满足下一步的分析评估需要。

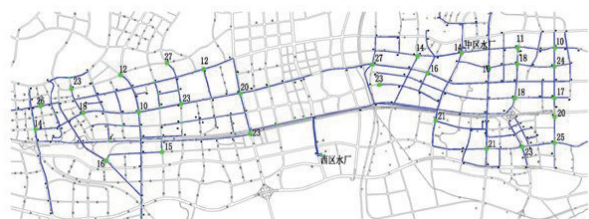


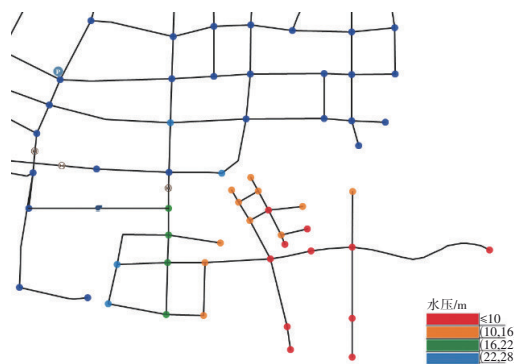
图4 各监测点实际水压与模拟水压的差值

Fig.4 Difference between actual water pressure and simulated water pressure at monitoring points

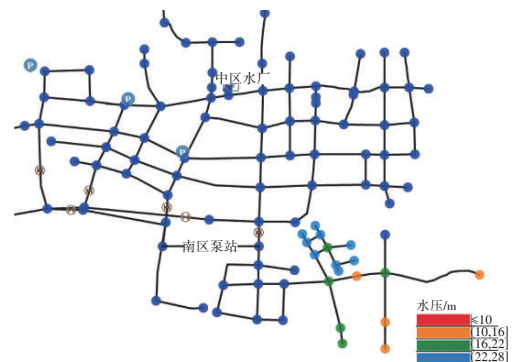
3 工业新城供水管网现状问题分析

3.1 南区工业企业用水与周边居民用水矛盾

中区水厂建成于工业新城发展前期,在运行过程中发现,由于南区总体地势较高(高程范围95~110 m),中区水厂地势较低(高程66 m),中区水厂对南区供水能力较弱,为保证南区工业企业及居民用水,在南区新建1座加压泵站(高程95 m)。利用供水管网模型分析加压泵站建设前后的节点水压,结果对比如图5所示。可见,新建加压泵站能够缓解南区供水压力不足问题,但仍存在部分节点水压较低情况。



a. 南区加压泵站建设前节点压力分布



b. 南区加压泵站建设后节点压力分布

图5 南区加压泵站建设前后节点压力分布状况对比

Fig.5 Comparison of node pressure distribution before and after the construction of the new south district booster pump station

各区域发展不平衡,特别是老城区工业区与居民区混杂,在企业生产高峰期用水量大幅增加,导致工业区周边部分居民区用水存在水量小、水压低的情况。

通过SCADA在线监测数据可知,西区水厂的供水压力较小,在用水高峰期(早上08:00和晚上18:00),各节点水压范围为200~410 kPa(1 m=10 kPa),用水

低谷期(晚上 24:00 左右)节点水压最大能达到 550 kPa 左右。西区水厂得益于地势较高,比供水管网高约 40 m,且工业用户多为用水量小的企业,故西区水厂送水泵的送水压力小、供水负荷较低,存在一定的富余供水能力。

3.2 工业临时用水需求难满足,供水管网压力大

部分用水量大的工业企业由于生产需要,用水量将会增大。以该工业新城用水量较大的某企业为例,其用水量由 13 824 m³/d 提高至 27 648 m³/d(用水量翻一番)时,工业企业周边的水压变化如图 6 所示。

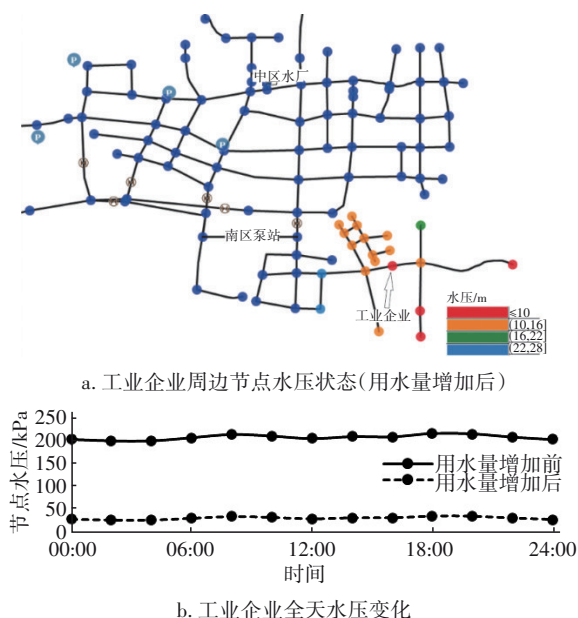


图 6 工业企业及节点水压变化

Fig.6 Water pressure variation of industrial enterprises and surrounding nodes

由图 6 可知,当工业企业用水量大幅增加时,周边居民用水水压将急剧下降,降幅达到 50% 以上,且企业自身用水水压也会受到影响。为保证生产效率,个别企业会直接从市政管网接泵抽水,从而导致更大面积的市政管网失压现象。

3.3 中区水厂老旧,供水抗风险能力差

由于中区水厂设备老旧,存在设备故障无法供水的情况,对中区水厂无法供水时该工业新城供水管网各节点水压进行模拟分析。中区水厂停产前后各节点高峰期(早上 08:00)的水压分布如图 7 所示。对中区水厂停产前后高峰期(早上 08:00)部分不利节点自由水头及水损较大的管道进行统计,结果如表 3、4 所示。

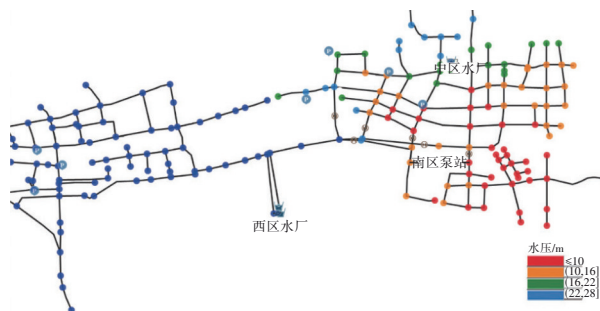


图 7 中区水厂停产各供水节点高峰期压力分布

Fig.7 Distribution of pressure values at various water supply nodes during peak periods after the shutdown of the central waterworks

表 3 中区水厂停产高峰期(早上 08:00)部分不利节点统计

Tab.3 Statistics of some unfavorable nodes during the peak period (AM 08:00) after the shutdown of the central waterworks

用水类型	节点编号	地面标高/m	停产后自由水头/m	停产前自由水头/m	停产前后下降幅度/%
居民生活	J00176	102.73	1.88	16.86	88.85
工业	J00179	105.98	2.47	15.47	84.03
居民生活	J00175	104.00	2.60	15.59	83.32
居民生活	J00124	100.27	3.04	15.57	80.48
居民生活	J00178	105.91	3.50	16.51	78.80
工业	J00131	94.97	4.53	16.68	72.84
居民生活	J00198	101.96	4.65	17.60	73.58

表 4 中区水厂停产高峰期(早上 08:00)水损较大的管道统计

Tab.4 Statistics of pipelines with significant water losses during the peak period (AM 08:00) after the shutdown of the central waterworks

管段编号	起止节点	管径/mm	千米水损/m	长度/m
P00207	J00150~J00193	600	8.77	1 102
P00125	J00136~J00088	300	7.75	469
P00289	J00194~J00195	800	6.06	823
P00168	J00090~J00124	500	6.04	355
P00114	J00125~J00124	300	5.94	1 111
P00209	J00195~J00107	600	5.69	1 080
P00211	J00090~J00197	400	4.13	464
P00266	J00193~J00195	600	3.83	466
P00169	J00124~J00131	500	3.81	409
P00212	J00197~J00085	400	3.76	453

由图 7 和表 3 可知,在中区水厂突发设备故障而无法供水时,西区水厂无法覆盖整个城区的供

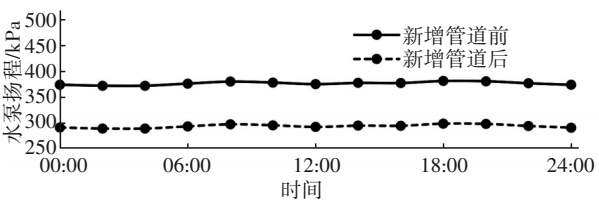
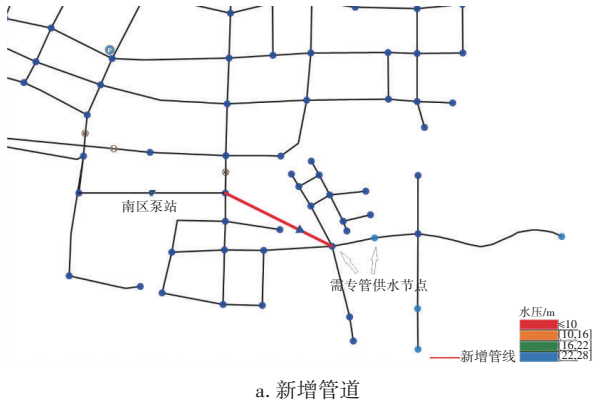
水。西区水厂由于地势较高,相比中区水厂正常供水时,西区各节点水压没有降低的情况出现。而部分地势较高的节点在用水高峰期会出现自由水头极低的情况,自由水头下降幅度达到 73.58%~88.85%。在用水高峰期(早上 08:00)用水缺口约 $7\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,仅通过西区水厂和南区加压泵站无法保障工业企业和居民正常用水,并会影响企业正常生产。

分析表 4 可知,现状千米水损较大的管段主要是输水量较大且管径较小的管道,原因是城市建设初期的老管网管径偏小。

3.4 多水厂联合供水管网调度优化措施

3.4.1 新增工业企业供水专管

节点 J00167 和 J00179 现状供水压力偏低,为该工业新城用水量较大的工业企业及其配套生活区,由南区泵站通过 1 根 DN600 管道加压供水。在企业建成初期用水量较小时,可满足企业用水量需求。但随着企业发展,用水量逐年递增,现有的 DN600 管道水损逐渐增大,现状管道水损已达到 6.5 m/km,导致企业的自由水头逐渐减小,现状节点平均水头为 20.51 m。为缓解供水高峰期用水紧张的情况,南区泵站需提高水泵扬程,企业需增加储备用水量。为保障企业及员工正常生产生活,以及企业临时增加用水量的需求,拟从南区泵站新建 1 根长 1.0 km 的 DN600 供水专管至企业及其配套生活区,在保障现有节点水压不降低的同时,减小南区泵站供水扬程和输水能耗。通过该城市管网模型进行模拟分析,新增管道及泵站扬程如图 8 所示。新增供水专管后,通过调节泵站水泵机组运行模式,将泵站扬程下调约 83.3 kPa,企业节点水压相比新增管道前可增加约 97.7 kPa(见表 5)。



b. 新增管道前后泵站扬程变化

图 8 新增管道及泵站扬程变化

Fig.8 Newly added pipelines and head changes of pump station

表 5 新增管道前后企业节点平均水压对比

Tab.5 Comparison of average water pressure at enterprise nodes before and after adding pipelines

节点编号	新增管道前平均水压	新增管道后平均水压
J00167	281.9	379.6
J00179	205.1	302.8

对企业临时增大用水需求时(企业用水量翻一番)周边节点水压分布情况进行模拟,结果如图 9 所示。

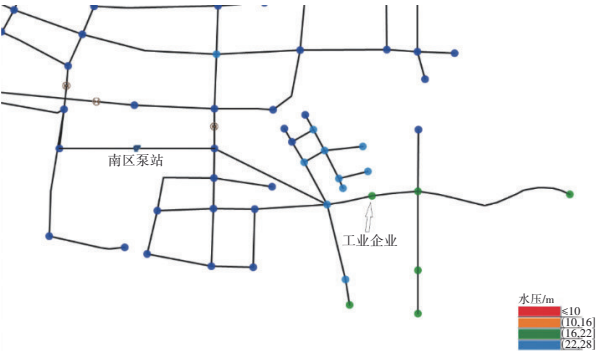


图 9 工业企业用水量增加后周边节点水压变化

Fig.9 Changes of water pressure at surrounding nodes after an increase in industrial water consumption

由图 9 可知,增设 1 根供水专管后,工业企业周边用水节点水压维持在 290~340 kPa 范围内。自身用水水压维持在 187.4 kPa 左右,能够满足企业生产需求。

3.4.2 适时改变供水分区,充分发挥供水能力

仍以前述用水量较大的某企业为例,当该企业日用水量翻番时,通过模型对供水管网进行模拟调度,改变各水厂的供水区域。通过模型调度管网后的各水厂供水范围如图 10 所示。

为均衡各个水厂的供水负荷,让日处理水量更大的西区水厂向日用水量翻番的企业所在区域集中供水,日处理水量较小的中区水厂向居民区、用

水量较小的区域集中供水,杜绝各水厂长时间超负荷运行。由图10可知,关闭若干供水干管上的阀门,改变现有供水范围,使企业用水量增加的部分由日处理量为 $16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的西区水厂供给。

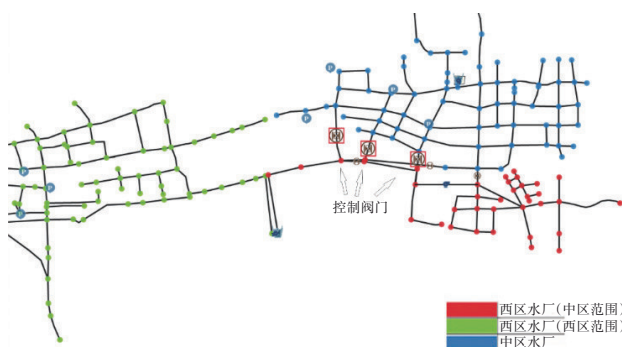


图10 管网调度后各水厂供水范围

Fig.10 Water supply scope for each waterworks after pipeline network scheduling

3.4.3 规划新建东区水厂,增强供水保障能力

工业新城未来的发展方向为东片区域,考虑东片片区用水需求,以及确保现有工业企业正常生产不受影响,建议在东部片区规划新建1座水厂。通过水源调度以及多水厂联合供水,保证任一水厂出现故障时,仍能对管网正常供水,满足工业企业和居民的正常用水水量及水压需求。根据该工业新城的地势、用水大户分布情况,在东区某高处(高程101 m)模拟新建1座水厂,水厂输水水压拟定为0.10 MPa,总水头为111 m。针对中区水厂停产后,由东区水厂、西区水厂联合供水范围、管网水压分布情况(用水高峰期)进行模拟分析,结果见图11。

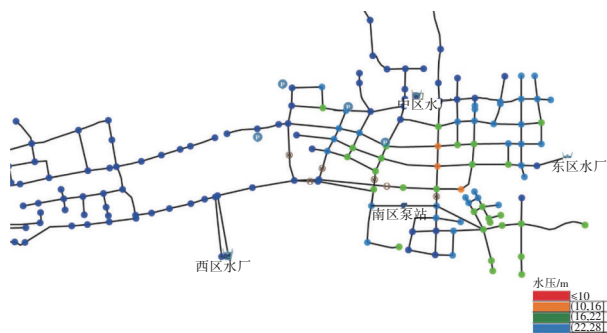


图11 东区、西区水厂联合供水管网水压分布

Fig.11 Water pressure distribution of the joint water supply network of the east and west waterworks

由图11可知,在中区水厂停产后,原中区水厂的供水范围由东区、西区水厂联合供水覆盖。在此工况下,中区、南区用水高峰期的节点水压为93.2~

371.9 kPa;超过92%的用水节点水压超过150 kPa,说明在中区水厂停产后,东区、西区水厂联合供水可满足大部分城区企业和居民生活用水需要。东区水厂和西区水厂的中线位置的用水节点水压相对其他位置更低,最不利点也位于此,说明这两个水厂联合供水时的中线位置为供水分界带。由于供水分界带处的水压较低,建议联合供水时,增加对分界带处的水质检测工作,若此处管网水质出现异常,可通过冲洗管道等方式改善管网水质。

4 结论与展望

基于WaterDesk建模软件、城市在线供水基础数据搭建了工业新城多水厂联合供水模型,并分析了工业城市供水管网运行存在的难点与问题:

① 当工业区与居民区混建,企业由于生产需求临时需大幅增加用水量时,会对周边居民的用水产生较大影响,可通过建立企业供水专管、调节供水管道阀门开度,改变各水厂供水范围,在满足企业用水的同时,保障居民生活用水。

② 由于工业新城对供水保障率要求较高,可前期规划多水源、多水厂联动供水,提高对企业用水的保障率,降低企业因停水造成停产的风险。

③ 通过WaterDesk建模软件与SCADA监测数据平台联动,可建立较为可靠、可视化程度高的厂网一体化水力模型。下一步将结合水压、水质建立水力水质模型,多维度模拟供水管网运行工况。

④ 未来可将WaterDesk模型作为在线模型的计算核心,通过在线模型对管网阀门进行实时模拟调度、管网运行风险识别和预警。对应急事件可以做到事前预测报警、事中数据监测分析和决策支持、事后复盘,避免事故再次发生。

参考文献:

- [1] 邓天奇,周子栋. 基于多水源分区联合供水的西南某市供水规划研究[J]. 广州建筑,2017,45(6): 3-11.
DENG Tianqi, ZHOU Zili. Study on water supply planning of a city in Southwest China based on joint water supply from multi-water resources [J]. Guangzhou Architecture, 2017, 45(6): 3-11 (in Chinese).
- [2] 陈乾浩,胡晓馨,范波,等. 供水管网水力模型在管网管理中的应用[J]. 给水排水,2021,47(6): 138-143.
CHEN Qianhao, HU Xiaoxin, FAN Bo, et al.

- Application of hydraulic model of water supply networks in pipe network management [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2021, 47(6): 138-143 (in Chinese).
- [3] 郑重,宋亚路,张瑞涛. 水力模型在城市供水管网施工改造中的应用研究[J]. *水电站机电技术*, 2023, 46(6): 1-3, 138, 159.
- ZHENG Zhong, SONG Yalu, ZHANG Ruitao. Research on the application of hydraulic models in the construction and renovation of urban water supply networks [J]. *Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station*, 2023, 46(6): 1-3, 138, 159 (in Chinese).
- [4] 张皓,何通,王天元,等. 供水管网水力模型建设及在供水规划中的应用[J]. *供水技术*, 2020, 14(3): 13-18.
- ZHANG Hao, HE Tong, WANG Tianyuan, *et al.* Hydraulic model building of water supply network and application in water supply planning [J]. *Water Technology*, 2020, 14(3): 13-18 (in Chinese).
- [5] 陈成新,李嘉豪,曹越,等. EPANET软件在城市区域供水管网中的应用[J]. *市政技术*, 2017, 35(5): 136-139, 174.
- CHEN Chengxin, LI Jiahao, CAO Yue, *et al.* Application of EPANET software in water supply network of urban area [J]. *Municipal Engineering Technology*, 2017, 35(5): 136-139, 174 (in Chinese).
- [6] 吴丹. 基于WATERGEMS的供水管网建模及优化调度研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学, 2018.
- WU Dan. *The Water Supply Pipe Network Modeling and Optimization Research Based on WATERGEMS* [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2018 (in Chinese).
- [7] 曾娇娇,朱玉玺,李佳佩. 珠海市供水管网模型的建模与应用[J]. *净水技术*, 2021, 40(3): 68-75.
- ZENG Jiaojiao, ZHU Yuxi, LI Jiapei. Modeling and application of hydraulic model for water supply distribution networks in Zhuhai City [J]. *Water Purification Technology*, 2021, 40(3): 68-75 (in Chinese).
- [8] 张自力,张强,张增烁,等. 基于在线水力模型系统的供水管网优化调度开发与应用[J]. *城镇供水*, 2020(6): 65-72.
- ZHANG Zili, ZHANG Qiang, ZHANG Zengshuo, *et al.* Development and application of optimization scheduling for water supply pipe network based on online hydraulic model system [J]. *City and Town Water Supply*, 2020(6): 65-72 (in Chinese).
- [9] 季京宣,俞亭超,杨玉龙,等. 多水厂供水管网的供水分界带水质改善研究[J]. *给水排水*, 2022, 48(8): 116-122.
- JI Jingxuan, YU Tingchao, YANG Yulong, *et al.* Water quality improvement for mixed water supply boundary in a multi-waterworks water distribution system [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 48(8): 116-122 (in Chinese).
- [10] 李干. 某啤酒厂项目供水问题的探索与研究[J]. *智能城市*, 2019, 5(5): 50-51.
- LI Gan. Exploration and research on the water supply problem of a brewery project [J]. *Intelligent City*, 2019, 5(5): 50-51 (in Chinese).
- [11] 舒诗湖,赵明,何文杰,等. 供水管网水力、水质模型校核标准探讨[J]. *中国给水排水*, 2008, 24(18): 104-106.
- SHU Shihu, ZHAO Ming, HE Wenjie, *et al.* Discussion on calibration standard for hydraulic and water quality model of water distribution network [J]. *China Water & Wastewater*, 2008, 24(18): 104-106 (in Chinese).

作者简介:廖晖(1994-),男,湖南长沙人,硕士,工程师,主要研究方向为自来水处理工艺、管网水力模型模拟。

E-mail:422943619@qq.com

收稿日期:2023-10-26

修回日期:2023-11-23

(编辑:衣春敏)